

Tommi Määttänen

# Mobiiliverkon tukiaseman rakentaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tietotekniikka

Insinöörityö

20.5.2015

Tekijä(t) Otsikko	Tommi Määttänen Mobiiliverkon tukiaseman rakentaminen
Sivumäärä Aika	26 sivua + 4 liitettä 11.5.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tietoverkot
Ohjaaja(t)	Koulutusohjelmavastaava Janne Salonen
<p>Insinöörityön tavoitteena oli tutustua 2G-, 3G- ja 4G-tukiasemien rakentamiseen. Työn yhteydessä ei rakenneta uutta tukiasemaa vaan tutustutaan tukiasemien rakentamiseen yleisesti. Työlle ei ollut tilaajaa, vaan se toteutettiin oman mielenkiinnon pohjalta.</p> <p>Työssä käydään läpi tukiaseman rakentamiseen liittyvät vaiheet masto- ja kiinteistökohteissa sekä tutustutaan lyhyesti toistinten käyttöön. Työn laatimiseksi on vertailtu useita tukiasemakohteita kokonaisuuden hahmottamiseksi.</p> <p>Työssä päästiin toivottuun lopputulokseen ja onnistuttiin kasvattamaan ymmärrystä tukiaseman rakentamisesta ja toiminnasta sekä tarvittavasta laitteistosta. Työn yhteydessä onnistuttiin sisästäämään tukiasemien rakentamiseen liittyvät käytännöt ja prosessit.</p>	
Avainsanat	2G, 3G, 4G, tukiasema, mobiiliverkko

Author(s) Title	Tommi Määttänen Building a mobile network base station
Number of Pages Date	26 pages + 4 appendices 11 May 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information Technology
Specialisation option	Data Networks
Instructor(s)	Janne Salonen, Head of Degree Programme
<p>The purpose of this bachelor's thesis was to familiarize oneself with building mobile base stations using 2G, 3G and 4G technology. The thesis does not cover building a specific new base station, but goes over the process on a general level. This thesis had no subscriber and was carried out due to the author's own interest.</p> <p>The thesis examines the steps involved in the construction of a base station in mast and real estate properties, as well as briefly covering the use of repeaters. Multiple separate base stations were examined to achieve an understanding of the general procedures and equipment required in building a base station.</p> <p>The goals of the thesis were reached which resulted in greater understanding on building a mobile network base station and it's operation as well as the equipment required.</p>	
Keywords	2G, 3G, 4G, base station, mobile network

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Mobiiliverkot	1
2.1	Käytetyt teknologiat	1
2.2	Mobiiliverkot Suomessa	2
3	Tukiaseman komponentit	3
3.1	Aktiivilaitteet	3
3.2	Diplexeri ja triplexeri	4
3.3	Jakaja	4
3.4	RET	4
3.5	Antenni	4
3.6	Toistin	5
3.7	Kaapelit	5
3.8	Voimalaitteisto	6
4	Antenniverkon rakentaminen	7
4.1	Kiinteistökohde	7
4.1.1	Ulkoverkko	9
4.1.2	Sisäverkko	13
4.2	Mastokohde	16
4.3	Voimalaitteisto	20
4.4	Antennipiirikytkennät	21
4.5	Siirtoyhteys	23
5	Käyttöönotto	24
5.1	Konfiguraatio	24
5.2	Parametrit	25
6	Yhteenveto	25
	Lähteet	26

## Liitteet

Liite 1. Yleinen antennipiiriasennus

Liite 2. Yleinen antennipiiriasennus, jossa myös 2100 MHz:n 3G

Liite 3. Monimutkainen antennipiiri

Liite 4. Sisäverkko

## 1 Johdanto

Tämän työn tarkoituksena oli tutustua mobiiliverkon tukiasemien rakentamiseen masto- ja kiinteistökohteissa. Työssä on perehdytty Nokia Solutions and Networks ("NSN") valmistamiin 2G-, 3G- ja 4G-laitteisiin sekä toistimiin ja näiden avulla rakennettaviin kokonaisiin tukiasemiin. Työ kattaa mastokohteet sekä kiinteistökohteisiin rakennettavat ulko- ja sisäverkot.

Työllä ei ollut tilaajaa, vaan se tehtiin täysin omasta mielenkiinnosta ja oman ammatti-osaamisen kasvattamiseksi. Tästä syystä työssä ei keskitytty minkään yhden tietyn kohteen rakentamiseen, vaan rakentamiseen, komponentteihin ja tekniikoihin tutustuttiin yleisemmällä tasolla.

## 2 Mobiiliverkot

Nykyään käytössä olevat mobiiliverkkoteknologiat ovat GSM (Global System for Mobile communication) eli 2G, UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) eli 3G sekä LTE (Long-Term Evolution) eli 4G. GSM:ää edeltänyt NMT (Nordic Mobile Telephone) on GSM:n myötä poistunut käytöstä.

### 2.1 Käytetyt teknologiat

GSM eli Global System for Mobile communication on yleisin Suomessa käytetty matkapuhelinteknologia, joka toimii 900 MHz:n tai 1800 MHz:n taajuusalueella. GSM on toisen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä, josta sen tutumpi nimitys "2G" tulee. 1800 MHz:n taajuusalueella toimivasta 2G-verkosta käytetään myös nimitystä DCS (Digital Cellular System 1800). GSM on ensimmäinen täysin digitalisoitu verkko, joka tukee tavallisten puheluiden lisäksi muun muassa datapuheluita ja tekstiviestejä. Suomessa GSM-verkkojen rakentaminen alkoi 1990-luvun taitteessa. [3.]

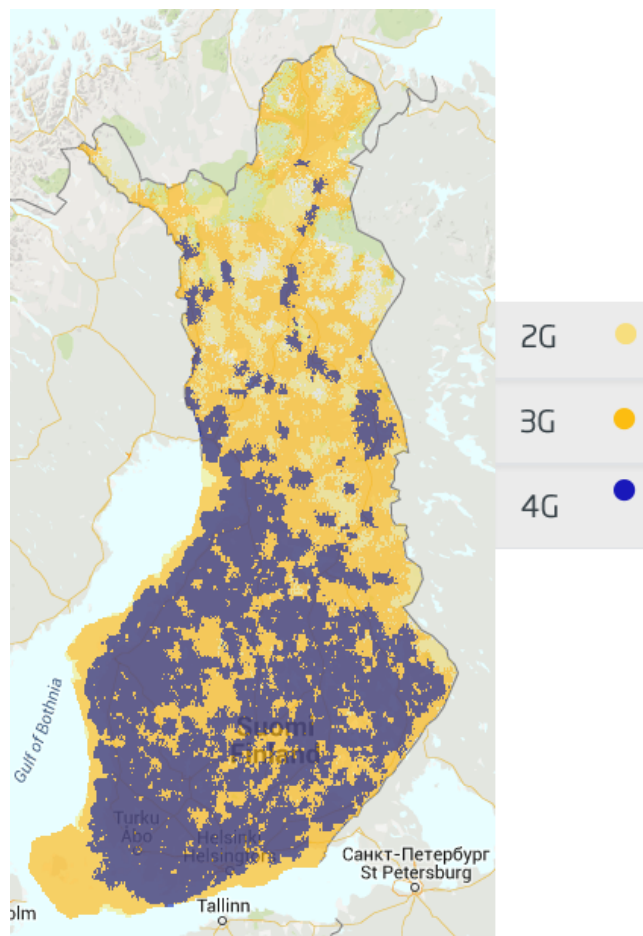
UMTS eli Universal Mobile Telecommunications System on GSM:n seuraajaksi suunniteltu kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä, josta sen tunnetumpi nimitys "3G" on peräisin. Suomessa 3G toimii 900 MHz:n ja 2100 MHz:n taajuusalueilla. 3G:n suurin ero 2G:hen on se, että 3G tarkoitettiin jo suunnitteluvaiheessa myös datasiirtoon ja se mahdollistaa huomattavasti nopeamman tiedonsiirron [4].

LTE eli Long-Term Evolution on neljännen sukupolven matkapuhelinjärjestelmä, joka toimii Suomessa 800 MHz:n, 1800 MHz:n ja 2600 MHz:n taajuusalueilla. Aiemmistä matkapuhelinjärjestelmistä poiketen 4G on tarkoitettu vain datan siirtoon eli 4G-verkossa ei voi lainkaan soittaa tavallisia puheluita.

## 2.2 Mobiiliverkot Suomessa

Mobiiliverkko-operaattorilla tarkoitetaan yhtiötä, joka omistaa oman matkapuhelinverkon ja harjoittaa operaattoritoimintaa. Suomen suurimmat mobiiliverkko-operaattorit ovat Elisa Oyj, DNA Oy sekä TeliaSonera Finland Oyj.

Suomessa on erittäin kattava mobiiliverkko, jossa on mahdollista saada 3G-yhteys lähes missä tahansa operaattorista riippumatta. Suureessa osassa Suomea 4G mahdollistaa hyvät datayhteydet, ja Ouluun on jo suunnitteilla Suomen ensimmäinen 5G-testiverkko [7].



Kuva 1. Elisan kuuluvuuskartta Suomessa. [1]

Kuvasta 1 ilmenee, että Elisalla on Suomessa erittäin kattava mobiiliverkko, joka peittää koko Suomen vähintään 2G-teknologialla. Nykyään myös 3G-verkko kattaa lähes koko Suomen ja 4G-verkko kattaa merkittävän osan Suomesta kasvaen jatkuvasti. 30.10.2013 päättyneessä 800 megahertsin taajuushuutokaupassa määrättiin verkko rakennettavaksi siten, että se kattaa 99 % Manner-Suomen väestöstä vuoteen 2019 mennessä [2].

### **3 Tukiaseman komponentit**

Mobiiliverkon tukiasema koostuu yksinkertaisimmillaan keskusyksiköstä, radiosta, antennista, siirtolaitteista ja näiden välisistä kaapeleista. Usein antennipiirin voikin rakentaa vain näillä, mutta esimerkiksi suuret sisäverkot vaativat muitakin komponentteja kuten jakajia ja diplekserejä.

#### **3.1 Aktiivilaitteet**

Tukiaseman aktiivilaitteiksi luetaan keskusyksikkö ja radio eli RF-yksikkö (Radio Frequency), jotka hallitsevat antennipiirin toimintaa ja ohjaavat signaalit oikeisiin portteihin. Keskusyksikkö on Flexi-tukiaseman ydin, johon kytketään RF-yksiköt, siirtolaitteet, sähkönsyöttö ja ulkoiset hälytykset.

Nykyään NSN:n valmistamista Flexi-radioista on käytössä kaikkea release 1:n SingleRF:stä release 3:n TripleRF:ään. SingleRF-nimitys tarkoittaa radiota, jossa on kaksi porttia ja palvelee yhtä sektoria. Vastaavasti TripleRF-nimitys tarkoittaa kuusiporttista radiota, joka voi palvella kolmea sektoria. Vanhempia kaksi- tai neliporttisia radioita ei kuitenkaan enää asenneta, vaan niitä korvataan uudemmilla kuusiporttisilla versioilla tarpeen mukaan. Uudet release 3 -radiot mahdollistavat myös saman radion käyttämisen kahdella eri tekniikalla. Ne toimivat samalla taajuusalueella, esimerkiksi 900 MHz:n 2G ja 3G. Tätä kutsutaan RF-sharingiksi ja jaettua radiota multiradioksi.

Kuusiporttinen radio palvelee vain kolmea sektoria, koska yhdellä radiolla on kolme tx/rx-porttia, eli lähettävää ja vastaanottavaa porttia. Kolme muuta porttia ovat rx-diversiteettiportteja. Rx-diversiteetti mahdollistaa kaksi erillistä tulkintaa vastaanotettavasta signaalista, jolloin häiriöiden vaikutus vähenee.



### 3.2 Diplekseri ja triplekseri

Diplekseri on passiivinen laite, joka vastaanottaa kahden eri taajuusalueen signaalin ja multipleksaa ne yhteen. Esimerkiksi diplekseriin voidaan kytkeä 900 MHz:n ja 2100 MHz:n signaalit erillisillä koaksiaalikaapeleilla, jotka diplekseri yhdistää yhteen lähtöporttiin. Nimensä mukaisesti triplekseri tekee saman kolmelle taajuudelle.

### 3.3 Jakaja

Jakaja on passiivinen laite, joka jakaa vastaanottamansa signaalin kahteen tai useampaan lähtöporttiin. Jakajia käytetään huomattavasti varsinkin sisäverkoissa ja ne mahdollistavat koko verkon kytkemisen yhteen radiolta lähtevään kaapeliin.

Jakajia on kahta perustyyppiä: symmetrisiä ja epäsymmetrisiä. Koska jakaja jakaa signaalin useampaan lähtöporttiin, signaali vaimenee. Symmetrisessä jakajassa on yleensä yhdestä neljään lähtöporttia, jotka kaikki vaimentavat signaalia saman verran. Epäsymmetrisessä jakajassa on vain kaksi porttia, joista toinen vaimentaa huomattavasti enemmän. Symmetrisiä jakajia käytetään yleensä antennipiirin reunoilla, kun verkon loppuun kytketään vain antenneja. Epäsymmetrisellä jakajalla voidaan varmistaa sekä riittävä teho muualle verkkoon että yhdelle antennille sopiva teho.

### 3.4 RET

RET eli Remote Electrical Tilt on antenniin kytkettävä laite, joka mahdollistaa antennin elektronisen tiltin säätämisen etänä. Näistä käytetään myös nimitystä RCU eli Remote Control Unit. Antennin elektronisella tiltillä tarkoitetaan antennin sisällä olevien metallielementtien kallistuskulmaa.

### 3.5 Antenni

Antennit lähettävät ja vastaanottavat radioaaltoja. Lähettäminen toimii muuntamalla radiolta tuleva sähköinen signaali sähkömagneettiseksi kentäksi, jonka vastaanottava laite voi tulkita. Vastaanotettava radioaalto aiheuttaa antenniin sähkömotorisen voiman, joka kulkeutuu koaksiaalikaapelia pitkin radiolle.

Antennit jaetaan kahteen pääryhmään: suuntaaviin antenneihin ja ympärisäteileviin antenneihin. Ympärisäteileviä antenneja käytetään muun muassa mastoihin ja kiinteistöjen katoille asennettavissa matkapuhelinviestintään tarkoitetuissa antenneissa tai

muissa tarkoituksissa, joissa signaalin lähetys- ja vastaanottosuunta muuttuvat jatkuvasti. Suuntaavia antennoja käytetään esimerkiksi linkkiyhteyksissä, joissa kaksi linkkipeiliä on asennettu eri mastoihin kohtisuoraan toisiinsa nähden tai toistinten palvelu-antenneina.

Antennin tärkeimpiä ominaisuuksia ovat antennikeilan leveys sekä kaistanleveys. Antennin sisällä on yksi tai useampi metallielementti, joista jokaisella on oma taajuusalue jolla elementti resonoi. Nämä elementit määräävät kaistanleveydet, joilla antenni voi toimia. Yhdessä ulkoantennissa voi olla esimerkiksi neljä elementtiä, joista jokainen resonoi eri taajuudella ja mahdollistaa esimerkiksi saman antennin käyttämisen 800 MHz:n, 900 MHz:n, 1800 MHz:n ja 2100 MHz:n signaalin lähettämisen ja vastaanottamisen. Antennikeilan leveys määrää, kuinka laajan alueen antennin lähettämä signaali peittää ja kuinka laajalta alueelta antenni voi ottaa signaalin vastaan.

### 3.6 Toistin

Toistimia käytetään yleisesti pienempien sisäverkkojen rakentamiseen. Toistimet eroavat tavallisista tukiasemista siten, että ne ovat täysin riippuvaisia toisen tukiaseman toiminnasta eivätkä toistimet tuo verkkoon lisäkapasiteettia. Toistinverkko toimii ulos, usein kiinteistön katolle, asennettavan palveluantennin eli donor-antennin avulla, joka vastaanottaa signaalin ja vahvistaa sen sisäverkkoon ja vastaavasti matkapuhelimen signaalin ulos. Toistin jatkaa signaalin edelleen kiinteistön sisäverkkoon. Toistimia voidaan käyttää 2G- sekä 3G-taajuuksien vahvistamiseen.

### 3.7 Kaapelit

Tukiaseman toiminta vaatii useita eri kaapeleita, kuten valokuitu- ja koaksiaalikaapelia tukiaseman, radion ja antennien välille sekä kuparikaapelia laitteiden sähköistämiseen ja maadoittamiseen.

Valokuitua käytetään tukiaseman keskusyksikön ja radion kytkemiseen sekä keskusyksiköiden kytkemiseen toisiinsa RF-sharing-tapauksissa. Runkokuitu, eli yksittäinen kaapeli, jonka sisällä kulkee monta valokuitua, mahdollistaa useamman keskusyksikön ja radion kytkemisen ilman tarvetta vetää laitteiden välille useita kuituja. Laitetilan sekä radioiden sijoituspaikan välille vedetty runkokuitu kytketään molemmissa päissä kuitu-

paneelille, johon tukiasemalaitteet yhdistetään. Ulos asennettu kuitupaneeli sijoitetaan säältä suojaavaan koteloon, jota usein kutsutaan kuituboksiksi.



Kuva 2. 7/8" RF-kaapeliin asennettu liitin on yhdistetty 1/2" kaapeliin sekä maadoitettu.

Koaksiaalikaapelia eli RF-kaapelia käytetään mobiiliverkkoratkaisuissa kahta eri paksuutta: 1/2" (tuumaa) tai 7/8". Paksumpaa RF-kaapelia ei voi kytkeä suoraan antennin tai radion porttiin, vaan väliin täytyy sijoittaa niin sanottu jumpperi, joka on melko taipuisaa ja 1/2" paksua RF-kaapelia. Tavallinen RF-kaapeli toimitetaan kelana, josta katkotaan sopivan mittaisia pätkiä, jonka päihin on asennettava tarkoitukseen sopivat liittimet (kuva 2), kun taas jumpperit ovat valmismittaisia yksittäisiä kaapeleita, joihin liittimet on kiinnitetty valmiiksi. RF-kaapelit maadoitetaan niihin asennetuista liittimistä.

### 3.8 Voimalaitteisto

NSN:n Flexi-laitteet tarvitsevat toimiakseen 48-voltista tasavirtaa. Tämän vuoksi tukiasemaa ei voi kytkeä suoraan pistorasiaan, vaan väliin tarvitaan tasasuuntaaja. Voimalaite koostuu kolmesta osasta: tasasuuntaaja, tasasuuntaajan pistoyksiköistä sekä akustosta.

Tasasuuntaaja on itse laite, johon kuuluvat sulakkeet, pistoyksiköt ja valvontayksikkö. Tasasuuntaajan pistoyksikkö on tasasuuntaajaan lisättävä osa, joilla tasasuuntaajan maksimikapasiteettia voidaan kasvattaa. Akusto varmistaa tukiasemalaitteiden toiminnan esimerkiksi sähkökatkon sattuessa.

## **4 Antenniverkon rakentaminen**

Antenniverkko koostuu yleensä kolmesta tai neljästä antennipiiristä. Ulkoverkoissa näistä käytetään usein myös nimitystä sektori, joka viittaa yhteen antennisuuntaan. Useimmissa tapauksissa jokaisella sektorilla on käytössä useampi tekniikka, jolloin kuuluvuuden saamiseksi eri taajuusalueille ei tarvita useampia tukiasemia. Sisäverkoissa sektorit jaetaan usein loogisesti, esimerkiksi liitteen neljä antenniverkkokuvassa kahteen sektoriin sillä verkko on selvästi jaettu kahteen eri nousukuiluun, vaikka niillä on yhteinen lähtö radiolta.

Toimiakseen tukiasema tarvitsee myös yhteyden runkoverkkoon. Yleisimpiä siirtoyhteyden eli transmission toteutustapoja ovat radiolinkit, siirtoyhteyden ketjuttaminen toisen tukiaseman kautta sekä kytkimet.

### **4.1 Kiinteistökohde**

Kiinteistökohteisiin asennetaan tukaisemia kahdesta syystä: ulkokuuluvuuden parantamiseksi alueella tai kuuluvuuden takaamiseksi kiinteistön sisätiloissa. Kiinteistöstä riippuen laitetila sijaitsee yleensä ilmanvaihtokonehuoneessa tai erillisessä teletilassa. Pelkkää sisäverkkoa rakennettaessa laitetila sijoitetaan usein teletilaan, josta tukiaseman siirtoyhteys saadaan, kun taas vain ulkoantenneja asennettaessa tukiasema sijoitetaan yleensä ilmanvaihtokonehuoneeseen ylimpään kerrokseen tai katon tasalle asentamisen yksinkertaistamiseksi. Kiinteistöön voidaan asentaa sekä sisäverkko että ulkoantenneja, jolloin suunnitteluvaiheessa päätetään laitetilan sijoituksesta.



Kuva 3. Yleiskuva kiinteistön IV-konehuoneen laitepaikasta.

Kuvassa 3 näkyy ilmanvaihtokonehuoneeseen asennettu voimalaite (vas.) sekä kaksi laitetelinettä, joiden välissä on seinälle kiinnitettyjä diplexsereitä sekä siirtoyhteyden kuitupaneeli. Asennukset voidaan toteuttaa ns. feederlessinä tai ei-feederlessinä. Feederless tarkoittaa, että tukiaseman radiot sijaitsevat laitetilan ulkopuolella, esimerkiksi katolla antennien luona, jolloin laitetilasta ei tarvitse vetää useita RF-kaapeleita antennille. Ei-feederless taas tarkoittaa, että radiot sijaitsevat laitetilassa ja antennille on asennettu RF-kaapelit, kuten kuvan 3 asennuksessa on tehty. Tukiasemat pyritään rakentamaan feederless-toteutuksina, sillä se vähentää laitetilan lämpökuormaa ja pienentää kaapelivaimennuksia. Keskusyksikkö voidaan myös tarvittaessa asentaa kiinteistön katolle puiselle laitepedille tai seinään kiinnitettynä.

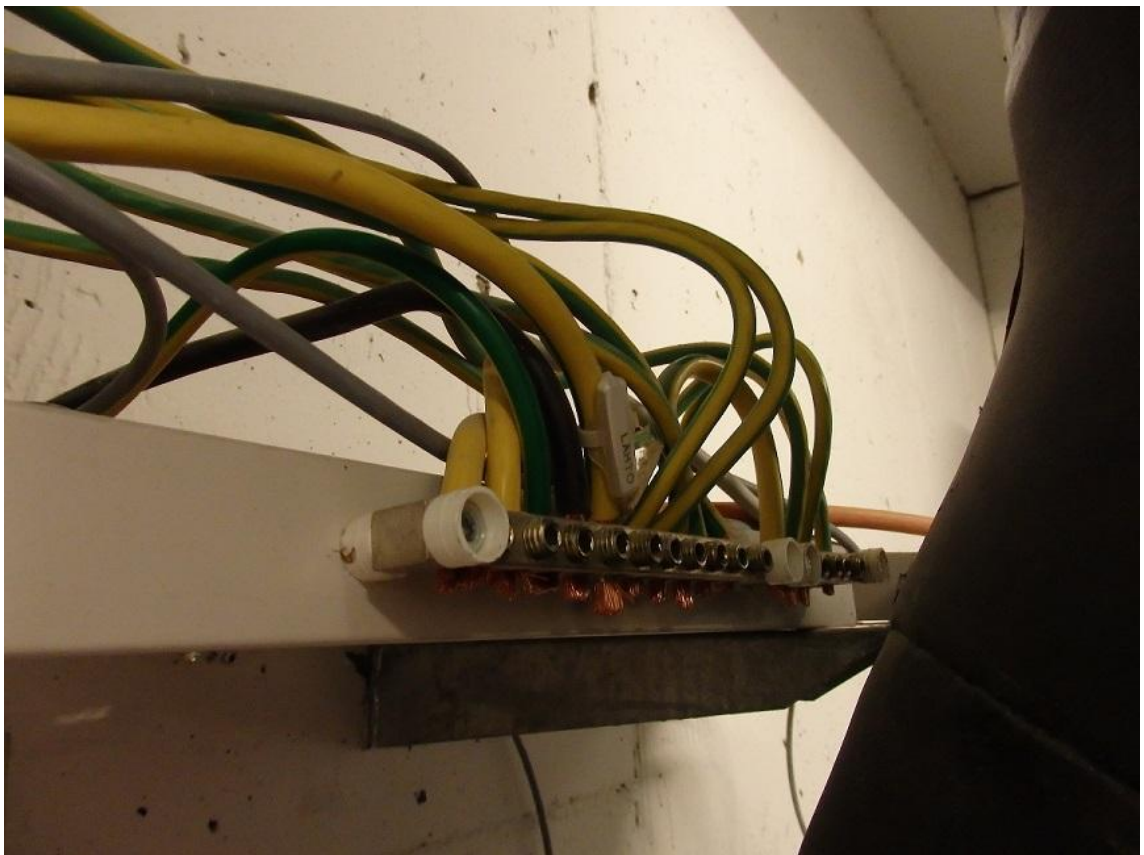
Kiinteistökohteissa kaapelit pyritään asentamaan käyttäen olemassa olevia läpivientejä ja kaapelireittejä. Sisätiloissa kaapelit pyritään piilottamaan välikattoihin tai suojakouruihin, jotka maalataan taustan sävyisiksi. Tarvittaessa kaapelireiteille, usein varsinkin katolle, rakennetaan kaapeliarinat. Tapauksissa joissa kattoarinaa ei voida kiinnittää kattoon, varmistetaan arinan paikallaan pysyminen esimerkiksi painojen avulla. Kaikki tehdyt tai avatut läpiviennit tiivistetään tarkoitukseen sopivalla massalla.



Palo-osastojen välisiin seiniin tehdyt läpiviennit tiivistetään erityisellä palomassalla. Kaapelit sijoitetaan läpivienteihin siten, että tiivistys voidaan suorittaa luotettavasti eikä kaapelien väliin jää tyhjiä rakoja.

#### 4.1.1 Ulkoverkko

Antennipiirin rakentaminen alkaa laitetelineen kalustamisesta sekä muiden komponenttien asentamisesta ja päättyy tukiaseman toiminnan testaamiseen. Laiteteline kasataan kiinteistön laitetilaan ja telineeseen kiinnitetään laitehylly jokaiselle painavalle laitteelle, kuten radioille ja keskusyksiköille, jotka painavat yli 20 kilogrammaa. Jos myös akusto ja voimalaite asennetaan samaan telineeseen, on telineen alle syytä sijoittaa lattiaa suojaava vanerilevy, sillä telineen paino nousee helposti satoihin kiloihin. Kevyet laitteet, kuten kytkimet tai kuitupaneelit, eivät tarvitse laitehyllyä. Kaikki laitteet kiinnitetään ruuvein laitetelineen runkoon.



Kuva 4. Kiinteistöön asennettu maadoitusrima, jossa kuparikytkennät.

Teline ja kaikki sähköistetyt laitteet maadoitetaan maadoitusrimalle (kuva 4) 16 mm<sup>2</sup> kuparikaapelilla, joka on edelleen maadoitettu maahan yleensä 25 mm<sup>2</sup> kuparilla. Haluttujen radioiden ja keskusyksiköiden lisäksi laitetelineeseen asennetaan usein

myös siirtolaitteita, feederless-tapauksissa kuitupaneeli ja usean operaattorin kohteissa yleensä myös DC-alijakelujärjestelmä voimalaitteen sulakepaikkojen riittävyyden varmistamiseksi.

Kiinteistön katolle asennettavat antennit kiinnitetään joko suoraan seinään, seinätelineeseen tai pystyputkitelineeseen, kuitenkin aina siten, ettei asennuksista aiheudu vaurioita kiinteistön rakenteisiin tai haittaa kiinteistön ylläpidolle. Antenneja ei tule sijoittaa liian lähelle toisia antenneja, sillä ne voivat aiheuttaa häiriöitä toisilleen. Telinevalinta tehdään kattotyyppin sekä asennettavien antennien määrän, koon ja painon mukaan. Antennit sijoitetaan siten, että antennin pääsäteilysuunta avautuu esteettömästi ja antenni on riittävästi katon yläpuolella.

Antenni suunnataan joko kiintopisteen tai kompassin avulla. Kiintopisteen avulla suuntaaminen on luotettavampaa, sillä kompassia käytettäessä on huomioitava eranto. Eranto tarkoittaa magneettisen ja maantieteellisen pohjoisen välistä kulmaa [5]. Antennin todellinen suunta saadaan vähentämällä eranto kompassisuunnasta. Jos antenni halutaan suunnata esimerkiksi suoraan pohjoiseen, ja alueen eranto on  $8^\circ$ , tulee antenni suunnata kompassin mukaan suuntaan  $352^\circ$ .



Kuva 5. Kaksi painotelineeseen kiinnitettyä antennia.

Tasaiselle tai loivalle katolle antennit sijoitetaan usein painotelineeseen, jonka alle sijoitetaan vanerilevy ja muovimatto kiinteistön rakenteiden suojaamiseksi. Painotelineen juurella on erillisiä betonipaloja, jotka estävät telineen kaatumisen tuulessa. Myös RF-yksiköt voidaan kiinnittää samaan telineeseen, jolloin nekin toimivat vastapainoina. Peltikatoille antennit voidaan asentaa konesaumanelineeseen, joka kiinnitetään katon saumoiohin. Telineiden pystyputkea pystyy tyypillisesti säätämään, jotta antennit saadaan kaltevillakin katoilla pystysuoriksi.

Seinälle asennettavat antennit voidaan kiinnittää suoraan seinään, painotelineeseen, konesaumanelineeseen tai puristettavaan seinätelineeseen. Paino- ja konesaumanelineet asennetaan kuten pystyputkitelineet, mutta pystyputken sijaan telineeseen kiinnitetään katonreunaputki johon antenni kiinnitetään. Puristettava seinäteline sopii muurityyppisille seinärakenteille, joissa pystyputkitelinetä ei voida käyttää. Teline kiinnitetään kahdella vastapalalla muurin molemmin puolin, jolloin seinä jää niiden väliin puristuksiin. Antennin voi kiinnittää suoraan seinään omilla kiinnitysraudoilla tai apuputken avulla, mutta nämä vaativat seinän puhkaisemisen. Seinälle asennetut antennit usein maalataan taustan sävyyn kiinteistön visuaalisen ilmeen säilyttämiseksi.





Kuva 6. Antennin kallistuskulman säätäminen.

Antennin kallistuskulmaa voidaan säätää joko ulkoisesti tai sisäisesti. Ulkoista kallistuskulmaa, eli mekaanista tilttiä, varten tarvitaan tilttisarja, kuvassa 6 vasemmalla. Antennin alareuna on kiinni asennustelineessä siten, ettei sitä voida säätää, jolloin yläreunaan asennettun tilttisarjan avaamalla voidaan antenni kallistaa etukenoon. Kallistuskulma lukitaan pultilla. Sisäistä, eli elektronista, tilttiä voidaan säätää kuvassa 6 oikealla näkyvästä mustasta kiekosta. Kiekkoa kiertämällä antennin sisäiset komponentit kallistuvat haluttuun kulmaan, joka kuvassa 6 on neljä astetta. Kiekkoa voidaan kiertää manuaalisesti tai RET-laitteella keskusyksikön kautta. RET:ien sähkönsyöttö tulee suoraan radiolta release 3 -tapauksissa tai vanhemmilla radioilla erilliseltä Bias-T-sähkömoottorilta, joka saa virran RF-kaapelista.



Kuva 7. Puiselle laitepedille asennettuja RF-yksiköitä.

RF-yksiköt pyritään asentamaan antennien läheisyyteen laittilan lämpökuorman ja kaapelivaimennuksen vähentämiseksi. Katolla radiot asennetaan puiselle laitepedille (kuva 7) tai konesaumatelineeseen noudattaen samaa periaatetta kuin antennitelineiden asennuksessa, tai vaihtoehtoisesti suoraan kiinteistön seinään. Kuvassa 7 on myös kaksi diplexeriä sekä sähkön alijakelulaatikko. Radio kytketään antennin portteihin RF-kaapelilla ja keskusyksikköön kuidulla.

#### 4.1.2 Sisäverkko

Kiinteistöön voidaan rakentaa ulkoantennien lisäksi myös sisäverkko sisäkuuluvuuden parantamiseksi. Laitetelineeseen asennetaan keskusyksikkö ja radio, jolta vedetään yksi RF-kaapeli sisäverkkoon. Tapauksissa, joissa sisäverkkoon halutaan kuuluvuus

useammalle eri taajuusalueelle käytetään, käytetään usein multiradioita, diplekserejä tai triplekserejä taajuusalueista riippuen. Esimerkiksi 900 MHz:n 2G sekä 3G ja 2100 MHz:n 3G voitaisiin toteuttaa 900 MHz:n multiradiolla sekä diplexerillä, jolla 2100 MHz:n ja 900 MHz:n taajuudet yhdistetään. Sisäverkoissa ei käytetä rx-diversiteettiä, ja sisätiloihin asennetut antennit ovatkin yleensä vain yksiportisia jolloin rx-diversiteetin käyttö ei ole mahdollista. Ulkoantenneista poiketen sisäantenneilla ei ole samanlaista porttia, vaan ohuempi "häntäkaapeli", johon RF-kaapeli kytketään liittimellä.

Liitteen 4 esimerkkikuvassa on vain yksi tekniikka, 2100 MHz:n 3G, jonka kellarikerrokseen asennetulta radiolta on kytketty yksi RF-kaapeli symmetriselle 1:2 (yhden suhde kahteen) jakajalle josta verkko haarautuu kahteen eri nousukuiluun. Epäsymmetrisiä jakajia on käytetty jakajien antennihaaroissa, jotta antennille kulkevan signaalin teho olisi toivotulla tasolla. Syvemmälle antenniverkkoon kulkevissa haaroissa käytetään jakajan pienemmän vaimennuksen porttia, jotta signaalin teho pysyisi riittävän korkealla. Esimerkkikuvaa huomattavasti pienempi sisäverkko voidaan toteuttaa myös toistimella.



Kuva 8. Välikattoon asennettu Kathreinin antenni 80010465 sekä sen häntäkaapeli.

Sisäverkoissa käytetään huomattavasti ulkoantenneja pienempiä paneeliantenneja tai niin sanottuja omni-antenneja, jotka säteilevät joka suuntaan. Kuten ulkoseinille asennetut antennit, myös sisäverkon antennit voidaan maalata taustan sävyisiksi. Sisäantennit eivät tarvitse erillisiä kiinnikkeitä, vaan ne voidaan kiinnittää suoraan seinään. Antennit voidaan asentaa myös kiinteistön välikattoon, kuten kuvassa 8, jossa ne ovat poissa näkyvistä, mutta toimivat normaalisti. Hyvä sijoituspaikka sisäantennille on esimerkiksi pitkän käytävän pääty, jolloin saadaan mahdollisimman suuri peittoalue yhdellä antennilla.

Jos samaan kiinteistöön halutaan myös ulkoantenneja, ne toteutetaan usein erilliseltä radiolta, jolle vedetään kuitu yhteiseltä keskusyksiköltä. Joissain tapauksissa voidaan asentaa ainoastaan yksi RF-yksikkö katolle, jolta RF-kaapeli vedetään sisäverkkoon.



Kuva 9. Kiinteistön sähkökaappiin asennettu Axell Wireless -toistin.



Toistimella rakennetut sisäverkot ovat suhteellisen pieniä, yleensä alle 10 sisäantennia kattavia verkkoja. Toistimen eduksi voidaan lukea sen pienempi virrankäyttö sekä tilantarve. Sähkönsyöttö toistimelle voidaan ottaa suoraan pistorasialta, jolloin myöskään voimalaitetta ei tarvitse asentaa. Toistin kiinnitetään suoraan seinään ilman erillisiä kiinnikkeitä ja, kuten kuvasta 9 ilmenee, toistin vie huomattavan vähän tilaa.

Toisiaan lähellä sijaitseviin kiinteistöihin voidaan rakentaa sisäverkko niin sanotulla etäradiolla. Etäradio on tavallinen RF-yksikkö, jolle on vedetty toisessa kiinteistössä sijaitsevalta keskusyksiköltä kuituyhteys. Sisäverkko rakennetaan muuten samaan tapaan kuin tavallisessa sisäverkkoratkaisussa. Etäradiolle ei tarvitse asentaa omaa voimalaitetta, vaan sen sijaan käytetään yksittäistä tasasuuntaajan pistoyksikköä, joka toimii muuntajana.

#### 4.2 Mastokohde

Mastoja on kaksi perustyyppiä: harustettu sekä vapaasti seisova. Harustettu masto kiinnitetään maahan haruskaapeilla yhdestä tai useammasta kohtaa, riippuen maston korkeudesta. Vapaasti seisovia mastoja ei ole erikseen tuettu, vaan ne ovat juuresta leveitä ja kapenevat huippuaan kohti. Harustettu masto voi olla huomattavasti vapaasti seisovaa mastoa korkeampi.

Mastokohteissa laiteteline asennetaan maston juurella olevaan laitekoppiin laitetelineeseen ja radiot pyritään sijoittamaan mastoon. Sähkönsyöttö toteutetaan lähes aina DC-alijakelujärjestelmän kautta voimalaitteen sulakepaikkojen riittävyyden takamiseksi, sillä mastokohteissa on usein monen operaattorin laitteita, jotka kaikki käyttävät samaa voimalaitetta.



Kuva 10. Maston maadoitusköysi.

Mastoon asennetut laitteet maadoitetaan mastoon vedetylle maadoitusköydelle, johon käytetään vähintään 50 mm<sup>2</sup> teräskaapelia (kuva 10) tai 25 mm<sup>2</sup> kuparikaapelia. Laitteet kytketään maadoitusköyteen vähintään 16 mm<sup>2</sup> kuparikaapelilla ja kiinnitetään kuvassakin näkyvillä liittimillä. Maadoitusköysi upotetaan noin 50 - 100 cm syvyyteen riippuen maa-aineksesta.



Kuva 11. Mastoon vedettyjen kaapelien läpivienti.

Mastoon vietävät laitteet nostetaan joko korinosturilla tai vinssillä riippuen maston korkeudesta ja mastoa ympäröivästä alueesta. Joissakin tapauksissa korinosturia ei ole mahdollista saada maston lähelle tilanpuutteesta tai huonokuntoisista teistä johtuen. Mastoon vedettävät kaapelit kiinnitetään laittilan ja maston väliseen kaapeliarinaan ja mastossa nousukiskon viereiselle sivulle, jotta mastoon kipeäminen ei esty. Putkimastoissa kaapelit vedetään ja kiinnitetään maston sisälle. Ylös mastoon asennetut lyhyet kaapelit, kuten jumpperit, kiinnitetään nippusiteillä mastorakenteisiin. Kaapelit vedetään mastoon erillisen vetoköyden avulla, jonka avulla mastoon tarvittavat kaapelit sidotaan ja nostetaan ylös.

Kaapelit tuodaan maston laittilassa valmiiksi olevista läpivienneistä (kuva 11), jotka tukitaan tarkoitukseen sopivalla massalla, esimerkiksi Sikaflexillä. Läpivientien ollessa täynnä joudutaan poraamaan uusia läpivientejä tai purkamaan tarpeettomia kaapeleita uusien reittien avaamiseksi.



Kuva 12. Putkimastoon vaakaraudoilla kiinnitettyjä radioita.

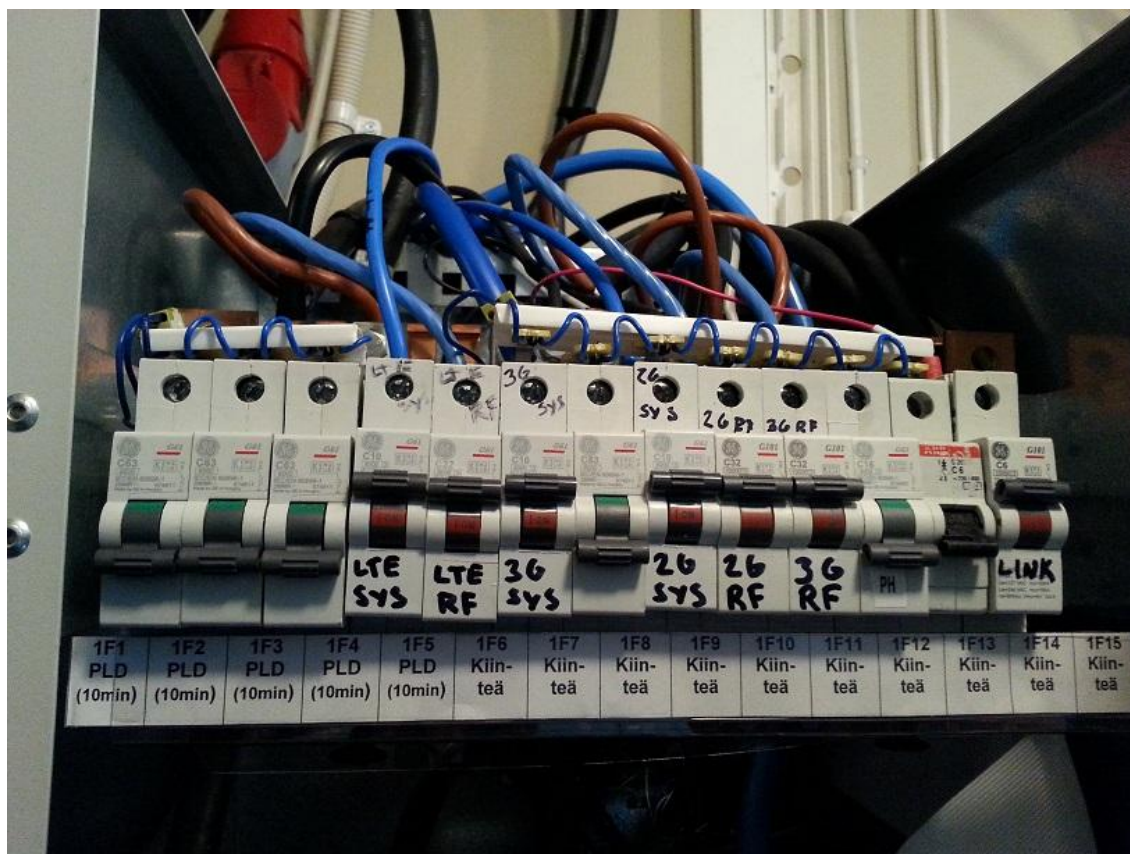
Kaikki mastoon asennetut laitteet pyritään sijoittamaan mahdollisimman lähelle mastorakennetta tuulikuorman aiheuttaman väännön välttämiseksi. Radiot kiinnitetään mastoon joko asennustelineeseen, kuten kuvassa 12, tai suoraan paarteeseen. Yhteen paarteeseen ei kuitenkaan sijoiteta useampaa laitetta, vaan usean laitteen asennukset on kiinnitettävä vähintään kahteen paarteeseen tai putkimaston runkoon asennettuun telineeseen. Yhteen telineeseen voidaan kiinnittää maksimissaan neljä RF-yksikköä, jotka mastossa olevan tilan salliessa asennetaan antennien väliin tai ahtaammisa paikoissa antennien alapuolelle.

Yksittäinen mastoon asennettava antenni kiinnitetään lähtökohtaisesti suoraan maston paarteeseen antennin omilla kiinnitysradoilla tai erillisellä apuputkella, jos kiinnitysradat eivät sovellu suoraan paarrekiinnitykseen. Suuren tuulipinta-alan antennit asennetaan aina kahteen paarteeseen kiinnitettyyn antennitelineeseen. Antennien sijoittamisessa tulee ottaa huomioon riittävä etäisyys muista antenneista häiriöiden välttämiseksi.



### 4.3 Voimalaitteisto

Voimalaite eli tasasuuntaaja on joko erillinen kaappi kuten kuvassa 3 tai laitetelineeseen muiden tukiasemalaitteiden kanssa sijoitettava pienempi laite. Mastokohteissa käytetään usein suurempaa kaappimallista laitetta, sillä ne tarjoavat suuremman kapasiteetin, jota useamman operaattorin mastokohteissa tarvitaan. Kiinteistökohteisiin riittää usein pienempi laitetelineeseen asennettava malli.



Kuva 13. Voimalaitteen sulakepaneeli, jossa kolmen tekniikan sähkönsyöttö.

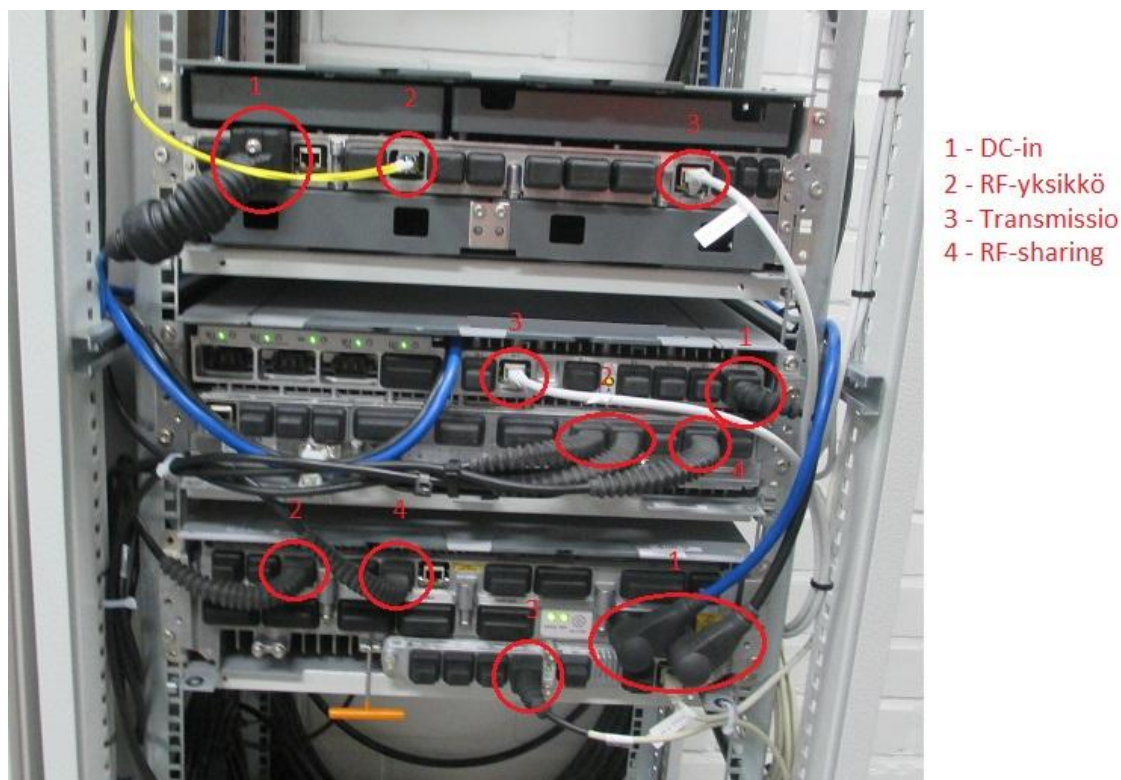
Tukiasemalaitteet kytketään voimalaitteen tai DC-alijakelujärjestelmän sulakkeisiin 6 mm<sup>2</sup> kuparikaapelilla. DC-alijakelujärjestelmää käytettäessä se kytketään voimalaitteen 63 A sulakkeelle 25 mm<sup>2</sup> kuparikaapelilla. Kuvassa 13 on kytkettynä kolmen eri tekniikan keskusyksiköt ja radiot sekä yhden linkin keskusyksikkö. Voimalaitteilla on usein erisuuria kuormanpudotusaikoja, joka tarkoittaa aikaa, jonka jälkeen voimalaitteen varateholähteen virransyöttö sulakkeille loppuu. 4G-laitteet kytketään 15 minuutin tai lyhyemmälle pudotukselle Viestintäviraston määräyksen 54 A/2012 M (6, s. 10) mukaisesti, sillä 4G:n toiminta ei ole puhelinyhteyksien toiminnan kannalta kriittistä sen tarjotessa mahdollisuuden vain dataliikenteelle.

Tukiaseman keskusyksikölle käytetään 10 A tai 16 A sulaketta ja radiolle 32 A sulaketta. Ei-feederless-tapauksissa radion sähkönsyöttö voidaan ketjuttaa keskusyksikön kautta, jolloin keskusyksikölle varataan 63 A:n sulakepaikka. Siirtolaitteille riittää 4-10 A:n sulake.

Varatehonlähteenä käytetään akustoja, joihin kuuluu yleensä neljä akkua, joista jokaisen kapasiteetti on 100-180 Ah. Mastokohteisiin akustoja asennetaan yleensä kolme, jotta kaikkien operaattorien laitteiden toiminta voidaan taata vähintään kolmen tunnin ajan. Akustot kytketään tasasuuntaajan akkuvarokeille, jotka ovat yleensä 100-200 A voimalaitteen mallista riipuen.

#### 4.4 Antennipiirikytkennät

Antennipiirin vaatimat kytkennät vaihtelevat asennettujen laitteiden mukaan. Jokaiseen keskusyksikköön kytketään kuitenkin vähintään sähkönsyöttö, siirtoyhteys eli transmissio sekä RF-yksikkö.



Kuva 14. Ylhäältä alas 4G FSMF, 3G FSMD sekä 2G ESMB ja niiden kytkennät.

Kuvassa 14 on esitetty varsin tyypillisen asennuksen keskusyksiköille tehdyt kytkennät. Numerolla yksi merkattuihin DC-in portteihin kytketään sähkönsyöttö voimalaitteelta tai

DC-alijakelulta. Numerolla kaksi merkattuihin kuituportteihin kytketään RF-yksikölle vievä valokuitu, joka voidaan kytketä kuitupaneelin kautta. Useamman RF-yksikön tapauksissa, kuten kuvan 3G-tukiasemalla, useammat RF-yksiköt kytketään seuraavaan vapaaseen kuituporttiin. Numerolla kolme on merkitty sähköisen siirtoyhteyden käyttämä portti. Kuituyhteyttä käytettäessä valokuitu kytkettäisiin keskusyksikön ensimmäiseen optiseen porttiin. RF-sharing-tapauksissa keskusyksiköiden välille kytketään valokuitu neljäksi optisiin portteihin, jotka kuvassa on merkitty numerolla neljä, sekä molemmat keskusyksiköt kytketään kuidulla samaan radioon. Kuvan kytkennöistä voidaan päätellä, että kyseisessä asennuksessa on 4G:llä käytössä yksi RF-yksikkö ja 2G sekä 3G jakavat 900 MHz:n RF-yksikön. 3G:lle on kytketty myös toinen RF-yksikkö, joka kuvan tapauksessa palvelee 2100 MHz:n taajuusalueella. RF-yksikköön sähkökaapeli ja valokuitu kytketään vastaavaan porttiin. Kuidut kytketään keskusyksikköön ja radioon asennettuihin SFP-lähetin-vastaanottimiin, joka mahdollistaa useiden erilaisten valokuitujen käytön.

Kuvan 14 kytkentää vastaava antenniverkkokaavio on esitetty liitteessä 2. Liitteessä 1 esitetty antenniverkkokaavio on muuten sama, mutta asennuksesta puuttuu 2100 MHz:n 3G. Liitteessä kolme on huomattavasti enemmän taajuusalueita, mutta RF-sharing ei ole käytössä, ja kytkennät ovat varsin yksinkertaisia.



Kuva 15. Antenniportteihin kytketyt RF-kaapelit.

Radion tx/rx- ja rx-diversiteettiporteista kytketään kaapelit antennin pohjassa oleviin portteihin. Jokainen porttipari on kytketty antennin sisäiseen elementtiin, joka resonoi tietyllä taajuusalueella. Tämän vuoksi RF-kaapelit on tärkeää kytkeä antennissa oikean taajuusalueen portteihin.

#### 4.5 Siirtoyhteys

Tukiaseman siirtoyhteys voidaan toteuttaa monilla tavoilla, kuten radiolinkeillä tai toiselta tukiasemalta ketjuttamalla. Siirtoyhteyden avulla tukiasema yhdistetään runkoverkkoon. Radiolinkkien käyttö on mastokohteissa huomattavasti yleisempää kuin kiinteistöissä, vaikka se on myös kiinteistökohteissa mahdollista.

Radiolinkki koostuu kahdesta linkkipeilistä, jotka ovat suuntaavia antenneja sekä kahdesta linkin keskusyksiköstä. Radiolinkki rakennetaan kahden kohteen välille siten, että molempiin kohteisiin asennetaan linkkipeili, jotka suunnataan kohtisuoraan toisiaan vasten. Siirtoyhteyden tarvitsevassa kohteessa tukiasemalaitteet kytketään linkin keskusyksikköön, ja siirtoyhteyden tarjoavassa kohteessa linkin keskusyksikkö on kytketty runkoverkkoon. Linkkipeili kytketään keskusyksikköön RF-kaapelilla.



Tukiaseman siirtoyhteys voidaan myös ketjuttaa toisen tukiaseman kautta, jolla on valmis runkoyhteys. 2G-tukiaseman siirtoyhteyden kapasiteetti ei riitä palvelemaan 3G- ja 4G-tukiasemia, mutta 3G-tukiaseman siirtoyhteys voi olla riittävän nopea myös 4G-tukiaseman palvelemiseen.

## 5 Käyttöönotto

Tukiaseman käyttöönotto eli komissiointi tehdään tukiaseman rakentamisen valmistuttua. Komissioinnin yhteydessä määritellään tukiaseman konfiguraatio ja parametrit, sekä suoritetaan toimintaan liittyvät testaukset.

### 5.1 Konfiguraatio

Antennipiirin konfiguraatio esitetään usein muodossa 1+1+1, 2+2+2+2 tai vastaava jokaiselle tekniikalle. Tällä ilmoitetaan solujen ja sektorien määrä, esimerkissä 1+1+1 tarkoitetaan, että tekniikalla on kolme solua ja kolme carrieria, kun taas 2+2+2+2 tarkoittaisi neljää sektoria, joista jokaisella on kaksi solua. Ennen tätä numerosarjaa ilmoitetaan myös tekniikka ja tekniikan käyttämä taajuus, esimerkiksi 2G 900 1+1+1. Solu on tukiaseman sektorin tekniikan uniikki tunnistenumero.

Liitteessä 1 esitetyn antennipiirin konfiguraatio voidaan ilmasta 2G/3G 900 RFS 1+1+1, 4G 800 1+1+1. Liitteen 2 antennipiiri olisi 2G/3G 900 RFS 1+1+1, 3G 2100 2+2+2, 4G 800 1+1+1. Liitteen 3 antennipiiri on huomattavasti monimutkaisempi ja se ilmoitettaisiin 2G 900 1+1+1, 2G 1800 1+1+1, 3G 2100 4+4+4, 4G 800 1+1+1, 4G 1800 1+1+1.

Radioyksikön jako useamman tekniikan kesken määritellään käyttöönoton yhteydessä. RF-sharing voidaan toteuttaa 900 MHz:n taajuudella 2G:lle ja 3G:lle tai 1800 MHz:n taajuudella 2G:lle ja 4G:lle. Yhteistä RF-modulia hallitsee aina 3G- tai 4G-keskysyksikkö, jolloin jomman kumman vikaantuessa myös 2G lakkaa toimimasta. 2G:n vikaantuminen ei vaikuta 3G:n tai 4G:n toimintaan. Ennen 2G:n käyttöönottoa 3G tai 4G täytyy olla toimintavalmiudessa. RF-yksikön porttien kokonaisteho joudutaan jakamaan jaettujen tekniikoiden kesken.

## 5.2 Parametrit

Käyttöönoton yhteydessä määritettäviä parametreja on huomattava määrä, ja pienikin virhe voi estää tukiaseman toiminnan. Tärkeitä parametreja ovat muun muassa soluliitokset, eli tukiaseman solujen liittäminen oikeisiin radioihin ja niiden portteihin, sekä solun teho. Komissioinnissa valitaan myös muun muassa rx-diversiteetin käyttö, RET-yksiköiden asettama kallistuskulma antennille sekä asetetaan tukiaseman IP-osoitteet.

## 6 Yhteenveto

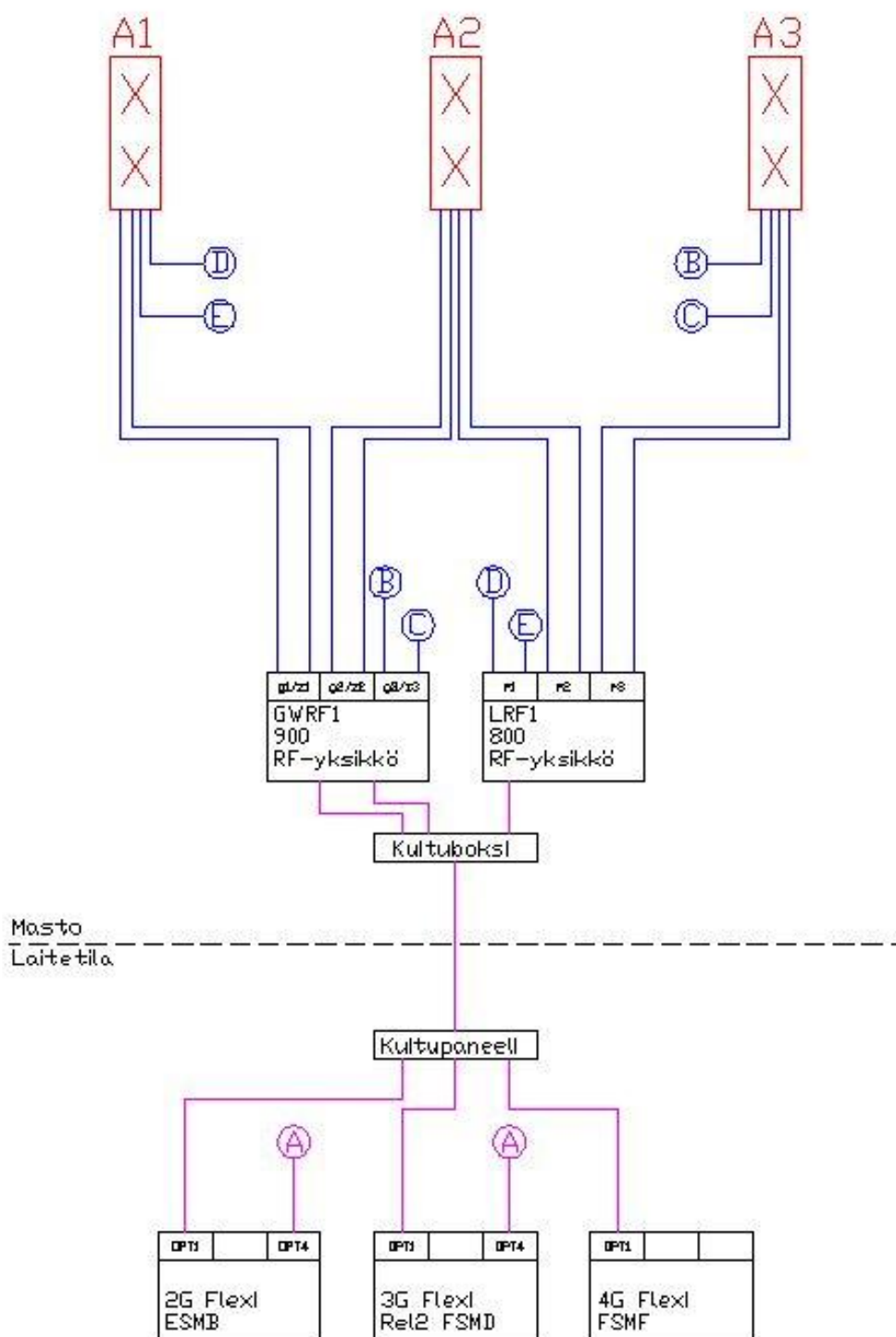
Insinööriyössä tutustuttiin mobiiliverkon tukiasemien rakentamiseen liittyviin vaiheisiin ja komponentteihin oman ammattitaidon kasvattamiseksi. Työssä tutustuttiin useisiin Nokia Solutions and Networks Flexi-laitteilla masto- ja kiinteistökohteisiin toteutettuihin ulko- ja sisäverkkoihin sekä toistimilla rakennettuihin sisäverkkoihin. Työssä selvitettiin erilaisten tukiasema-asennuksien rakennusperiaatteita sekä niiden vaatimat laitteet ja kytkennät riittävän kokonaiskuvan hahmottamiseksi.

Työssä saavutettiin asetetut tavoitteet ja onnistuttiin kasvattamaan tietämystä tukiasemien rakentamisesta huomattavasti. Ennen opinnäytetyötä tietämys tukiasemien rakentamisesta ja toiminnasta oli melko vaatimaton, mutta opinnäytetyön yhteydessä onnistuttiin saavuttamaan syvempi ymmärrys erilaisista tukiasemaratkaisuksista. 5G-tekniikkaan ei valitettavasti päästy tutustumaan sen ollessa vasta suunnitteluvaiheessa.

## Lähteet

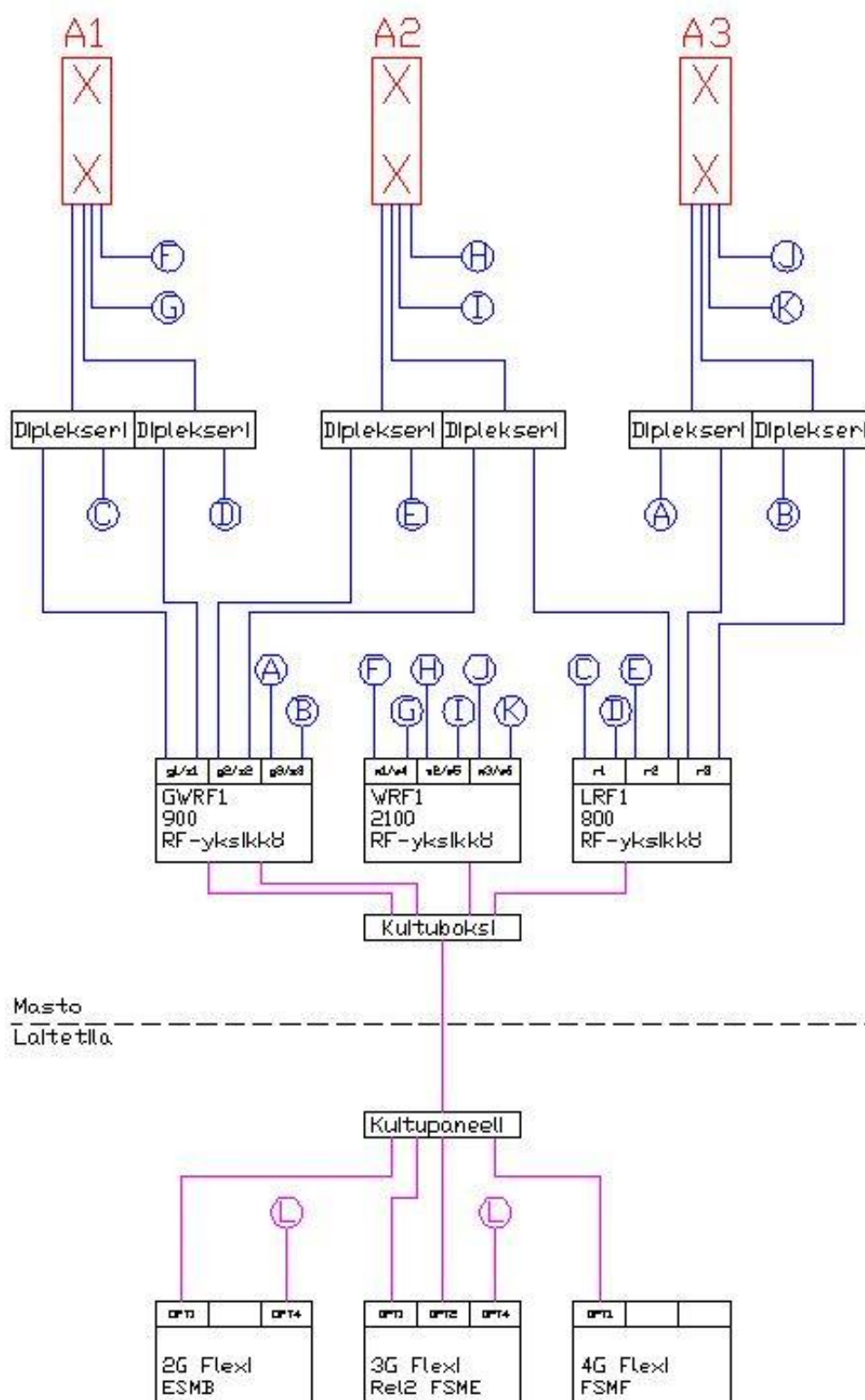
- 1 Elisan kuuluvuuskartta. Verkkosivu. Luettu 17.4.2015. <https://elisa.fi/kuuluvuus/>.
- 2 Taajuushuutokaupan 4G-taajuudet kolmelle toimijalle. Verkkosivu. Luettu 16.1.2015. <http://www.lvm.fi/tiedote/-/view/4351806>.
- 3 GSM. Verkkosivu. Luettu 14.4.2015. Muokattu 3.2.2015. <http://fi.wikipedia.org/wiki/GSM>.
- 4 3G (third generation of mobile telephony). Verkkosivu. Luettu 16.4.2015. Muokattu elokuussa 2009. <http://searchtelecom.techtarget.com/definition/3G>.
- 5 Erannon korjauksen käyttäminen. Verkkosivu. Luettu 18.4.2015. <http://www.suunto.com/fi-FI/Tuki/Compasses-feature-index/Erannon-korjauksen-kayttaminen/>.
- 6 Viestintäverkkojen ja -palvelujen varmistaminen. Verkkodokumentti. Luettu 6.5.2015. Luotu 3.5.2012. <https://www.viestintavirasto.fi/attachments/maaraykset/Viestintavirasto54A2012M.pdf>.
- 7 Suomen ensimmäinen 5G-verkko Ouluun – VTT ja Oulun yliopisto saavat yhteisen testiverkon. Verkkosivu. Luettu 7.5.2015. Muokattu 12.2.2015. [http://yle.fi/uutiset/suomen\\_ensimmainen\\_5g-verkko\\_ouluun\\_\\_vtt\\_ja\\_oulun\\_yliopisto\\_saavat\\_yhteisen\\_testiverkon/7799264](http://yle.fi/uutiset/suomen_ensimmainen_5g-verkko_ouluun__vtt_ja_oulun_yliopisto_saavat_yhteisen_testiverkon/7799264).

## Yleinen antennipiiriasennus

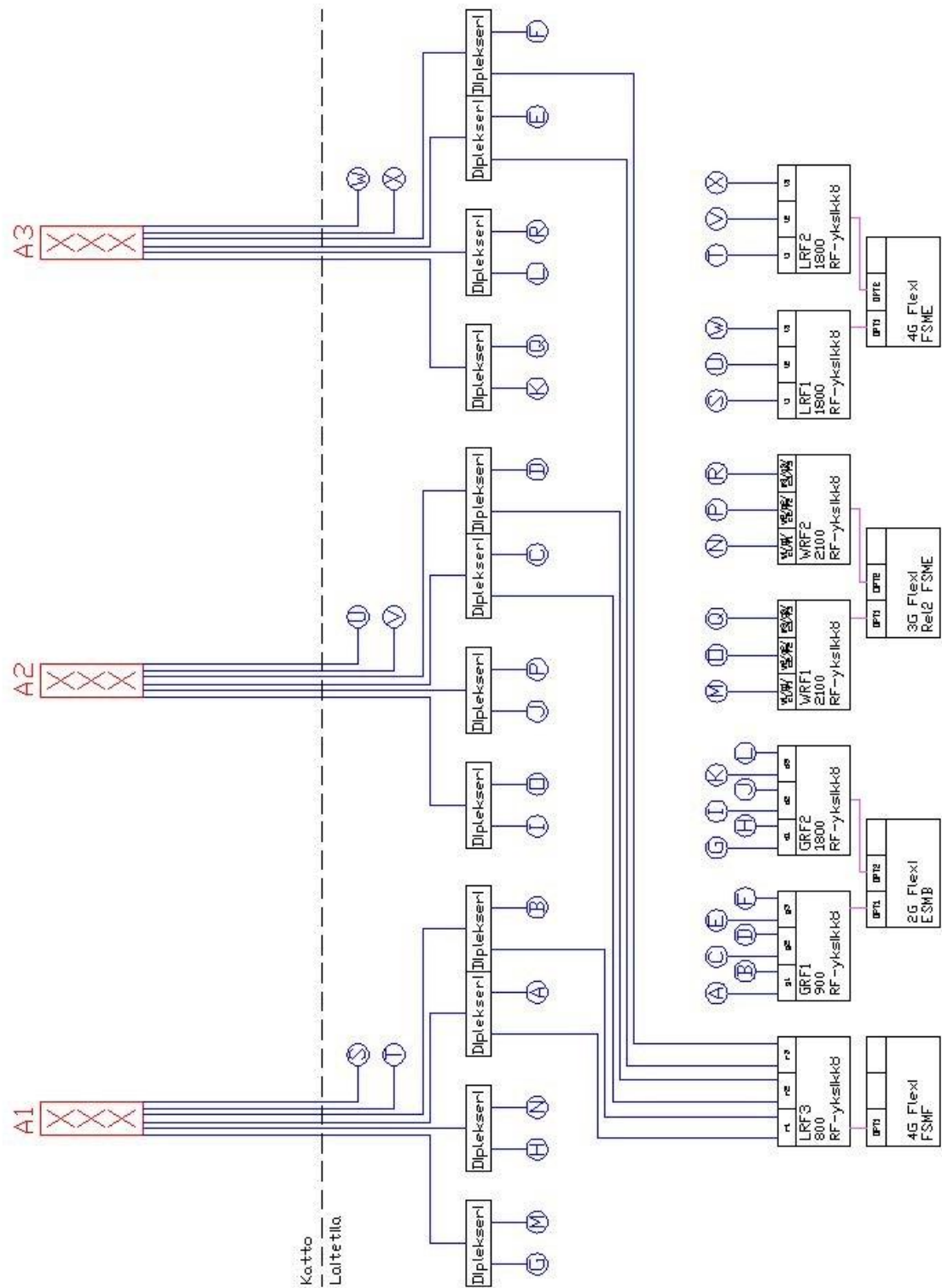




# Yleinen antennipiiriasennus, jossa myös 2100 MHz:n 3G



Monimutkainen antennipiiri



## Sisäverkko

